

CCF 浮选柱在铅锌矿选矿中的应用*

张建刚, 吉红, 卿林江, 陈典助

(长沙有色冶金设计研究院, 湖南 长沙 410011)

摘要: CCF 浮选柱在铅锌矿选矿取得了良好的效果, 以盘龙铅锌矿为例, 一次浮选柱作业可以代替 2~3 次浮选机作业, 选别作业由原来的 18 个分选作业减少为 9 个分选作业, 最终获得的铅精矿中铅品位和回收率分别比原来高 5.27% 和 0.54%, 获得的锌精矿的中锌品位和回收率分别比原来高为 2.88% 和 1.27%。CCF 浮选柱在凡口铅锌矿同样获得了较好的效果, 改造后采用的柱机联合流程比原来减少 7 个浮选作业, 装机台数比原来少 38 台, 且在品位基本保持不变时, 采用柱机联合分选流程, 可获得单一铅精矿和锌精矿, 其回收率分别比原来提高 19.56% 和 31.73%。

关键词: CCF 浮选柱; 铅锌矿; 凡口; 盘龙

中图分类号: TD456 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0076(2015)04-0038-05

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2015.04.008

The Application of CCF Flotation Column in Separation of Lead - zinc Ore

ZHANG Jiangang, JI Hong, QING Linjiang, CHEN Dianzhu

(Changsha Engineering and Research institute ltd of Nonferrous Metallurgy, Changsha 410011, Hunan, China)

Abstract: The application of CCF flotation column in lead - zinc ore separation has reached good result. Taking PanLong lead - zinc plant for example, 1 CCF flotation column operation could replace 2 - 3 flotation machine work, the separation processes reduced from 18 to 9. Compared with original indexes, the grade and recovery of lead concentrate increased by 5.27% and 0.54% respectively, which of zinc concentrate increased by 2.88% and 1.27% respectively. Good effect also obtained in FanKou lead - zinc plant. The flotation operations reduced to 7 by the combination of flotation column and flotation machine, and 38 machines were less than the original installed capacity, the grade of the concentrate was unchanged, single lead and single zinc concentrates were obtained through combined flowsheet, and the recovery of lead and zinc was improved 20% and 30% than before respectively.

Key words: CCF flotation column; Pb - Zn mine; Fankou; Panlong

我国铅锌矿石储量丰富, 铅和锌的基础储量分别达到了 1 248 万 t 和 3 763 万 t, 但随着矿石的开采, 铅锌矿的富矿石逐渐枯竭, 矿石性质趋贫、细、杂发展。国内针对复杂的铅锌矿石做了大量的研究, 其中主要包括: 硫化矿电位调控浮选、载体浮选、快

速分支浮选、异步混浮浮选、全浮浮选等分选工艺^[1-5], 但选矿成本均偏高。随着选矿厂改扩建用地紧张和国家加强对节能减排的控制, 开发高效大型的选矿设备成为降低矿石分选成本和厂房面积的关键, 因此, 高效低能的浮选柱成为了主要的研究方

* 收稿日期: 2015-07-10

作者简介: 张建刚, 高级工程师, 主要从事矿山设计与咨询工作。

向之一,浮选柱具有维修方便、占地面积小、富集比高、循环量小和用水量小等优点^[6,7]。但在分选矿石的过程中,浮选柱的气泡发生器容易堵塞和磨损,长沙有色冶金设计研究院研究的 CCF 浮选柱,成功开发出径向等速喷枪式气泡发生器,解决了以上问题,并得到了广泛的工业应用^[8]。

1 CCF 浮选柱的原理及应用情况

CCF 浮选柱属于逆流式浮选柱,其根据矿石中各种矿物表面亲疏水性的差异,在固体、水及气体三相流的作用下,使各种矿物之间达到分离。矿浆从给矿口给入,进入浮选柱筒体内,在浮选柱底部喷枪产生的泡沫作用下,有用矿物被泡沫带到浮选柱的顶部从泡沫槽中排除,脉石从浮选柱的底部排出。矿粒与气泡逆向运动,紊流度低,柱内气泡细小均匀,表面积大,在逆流条件下与矿粒接触机会更多,有利于提高浮选速度和回收率^[9,10]。

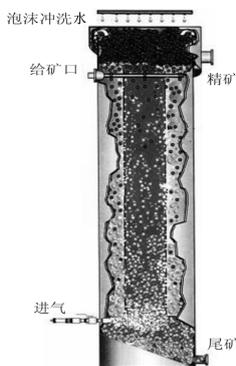


图1 CCF浮选柱原理图

首套 CCF 浮选柱在 2003 年应用于洛钼集团选矿三公司粗选和精选作业,然后在洛钼集团、金堆城矿业公司、鹿鸣矿业的钼选厂得到了推广。随后,CCF 浮选柱广泛应用于其它有色金属矿选矿,湖南郴州柿竹园多金属矿采用了 CCF 浮选柱用于铋硫混浮和钼铋等浮、钼铋分离等作业,其中钼铋等浮作业 1 台浮选柱代替原有的 5 次作业(一粗二精二扫);金川集团有限公司镍冶炼厂采用了 CCF 浮选柱用于铜镍分离的粗、精、扫作业。CCF 浮选柱也有成功地应用在高寒高海拔地区,在甲玛铜多金属矿项目二期 4 600 m 的精矿车间,CCF 浮选柱成功地用在选钼作业段。除此之外,CCF 浮选柱在铝土矿和非金属领域也有所应用,河南郑州长城铝业公司采用了 CCF 浮选柱用于铝土矿的反浮选,贵州福泉

洋浦恒立公司采用了 CCF 浮选柱分别用于磷矿反浮选的粗选、精选和精扫选。

但是在国内浮选柱极少用于铅、锌矿石的分选。从 2012 年至今,长沙有色冶金设计研究院与多矿山企业合作,利用 CCF 浮选柱分别针对广西盘龙低品位铅锌矿和韶关凡口高品位铅锌矿做了工业试验,并根据试验转化为工业实践,在生产中取得较好的分选效果,这表明 CCF 浮选柱在铅、锌分选的工业实践中取得了重大的进展和突破。

2 CCF 浮选柱分选铅锌矿石的生产实例

2.1 CCF 浮选柱在盘龙铅锌矿的工业应用

2.1.1 原矿性质

广西盘龙铅锌矿石中方铅矿、闪锌矿的结晶粒度以细粒-微细粒为主,闪锌矿主要嵌布粒度为 0.05~0.15 mm,方铅矿多数以它形晶、不规则状的形式分布在环形结构中,嵌布粒度主要分布在 0.02~0.04 mm,有用矿物和脉石矿物黄铁矿、白云石、重晶石交代溶蚀,晶型呈港湾状、细粒状、星点状浸染在黄铁矿、白云石、重晶石中,原矿多元素分析和物相分析结果分别见表 1、表 2 和表 3。

表1 原矿多元素分析结果 /%

元素	Pb	Zn	Fe	As	S	CaO	MgO	CaF ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃
含量	0.58	2.53	6.17	0.22	8.86	19.98	13.40	19.76	2.77	0.80

表2 原矿铅物相分析结果 /%

铅物相	硫化铅	氧化铅	铅铁矾	合计
含量	0.37	0.186	0.024	0.58
分布率	63.79	32.12	0.05	100

表3 原矿铋物相分析结果 /%

铋物相	硫化铋	碳酸铋	铋铁尖晶石	合计
含量	2.35	0.07	0.02	2.44
分布率	96.14	3.05	0.81	100.00

从表 1~表 3 可以看出,该矿石属于低品位铅锌矿石,矿石中锌氧化率较低,但铅氧化率较高,可能不利于铅的回收率的提高。

2.1.2 选厂概况

2010 年以前,该选厂铅锌矿浮选分选设备为充气式浮选机,其浮选分选流程见图 2。从图 2 中可以看出,铅循环采用两次粗选、五次精选、二次扫选,

锌循环采用两次粗选、四次精选和三次扫选,最终获得的铅精矿中的铅品位和回收率分别为 58.48% 和 58.99%, 锌精矿锌品位和回收率分别为 46.35% 和 88.07%, 但该工艺流程复杂, 带来了操作困难、管理困难和占地面积大等问题。为了扩大生产规模, 需要优化工艺流程、加强铅锌矿的分选, 因此对现场的铅浮选和锌浮选做了分段分块替代工业试验。

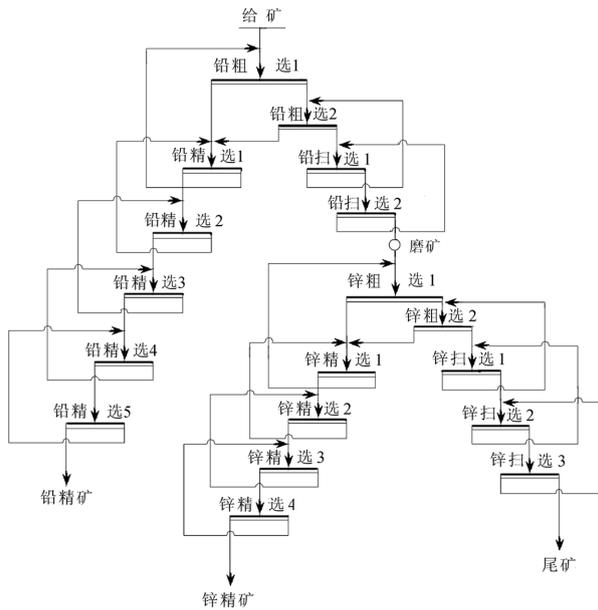


图2 现有选厂选矿浮选段工艺流程图

2.1.3 改造方案及实施

为了扩大选厂的生产规模, 同时不影响现有选厂的正常生产, 在改造时需要将铅锌矿浮选段进行分段、分块改造。因此为了能够满足现场的实际需要, 工业试验时也采用了 CCF 浮选柱对铅锌矿浮选段进行分段、分块试验。

(1) 铅浮选

试验采用型号为 $\Phi 1200 \times 8000$ 和 $\Phi 1000 \times 8000$ 两个 CCF 浮选柱分别进行一粗一精流程、一粗一扫流程和二精流程。从表 4 中可以看出, 当采用一粗一精两次作业代替原来的两粗一精一扫共四次作业时, 粗精矿中铅的品位比原来提高了 2.07%, 回收率提高了 18.7%, 而粗精矿中锌的品位下降了 4.09%, 这说明 CCF 浮选柱可以强化铅锌分离; 当采用一粗一扫两次浮选柱作业代替浮选机的两粗两扫一精五次作业时, 粗精矿铅的品位和回收率有小幅增加, 但粗精矿中锌品位比原来低 15.53%, 说明采用 CCF 浮选柱可以加强铅的扫选作业, 提高铅的回收率和加强铅锌分离; 当采用两次精选流程代替现场四次精选流程时, 获得的铅精矿的品位为 63.75%, 超过原指标 2.31%, 但精矿中锌的品位比原来降低了近 4%, 而铅精矿的回收率保持不变。

表4 浮选柱和浮选机分选铅试验指标对比

试验阶段	设备类型	精矿铅品位	精矿中锌品位	尾矿铅品位	尾矿中锌品位	铅作业回收率
铅粗-精选	浮选柱	31.35	8.95	0.36	2.76	57.18
	浮选机	29.28	4.86	0.45	3.66	38.48
铅粗-扫选	浮选柱	15.93	12.88	0.31	2.24	65.61
	浮选机	15.43	28.41	0.34	2.58	64.66
铅精选	浮选柱	63.75	3.35	19.31	16.68	13.27
	浮选机	61.44	7.26	16.31	16.70	31.81

(2) 锌浮选

试验采用型号为 $\Phi 1200 \times 8000$ 和 $\Phi 1000 \times 8000$ 进行粗选—精选流程、粗选—扫选流程二个阶段。从表 5 中可以看出, 当采用一粗一精流程替代现场的二次粗选二次精选时, 锌粗精矿品位为 50.89%、作业回收率 76.44%, 因此可以采用 CCF

浮选柱强化锌粗选和精选; 从表 6 中可以看出, 当采用一粗一扫流程时, 稳定期间的锌粗精矿品位 35.00%、但作业回收率比原来低 2.97%, 因此 CCF 浮选柱不利于对含锌尾矿的扫选, 在生产中可以使用柱机联合流程来加强对锌矿的扫选。

表5 浮选柱和浮选机在粗选-精选分选锌试验指标对比

试验阶段	设备类型	粗精矿锌品位	粗精矿铅品位	精矿锌品位	精矿铅品位	锌回收率
锌粗选-精选	浮选柱	44.86	1.59	50.89	1.67	76.44
	浮选机	23.37	1.98	34.38	1.63	72.03

表6 浮选柱和浮选机在粗选-扫选分选锌试验指标对比 /%

试验阶段	设备类型	精矿品位	尾矿品位	作业回收率
锌粗选-扫选	浮选柱	35.00	0.40	88.38
	浮选机	27.47	0.30	91.35

(3) 改造效果

根据上述试验成果,该厂已将 CCF 浮选柱应用于选厂生产中,铅浮选经过一粗一扫二精后得到铅精矿,铅扫选尾矿进入锌浮选搅拌槽搅拌后、进行一粗二扫二精锌浮选,锌的扫选作业采用浮选机,选别作业由原来的 18 个分选作业减少为 9 个分选作业,其具体流程见图 3。目前,该厂进入生产调试阶段,生产指标日趋接近试验指标,从表 7 中可以看出,改造后铅精矿的铅品位和回收率分别比原来高 5.27% 和 0.54%,锌精矿的锌品位和回收率分别比原来高为 2.88% 和 1.27%。

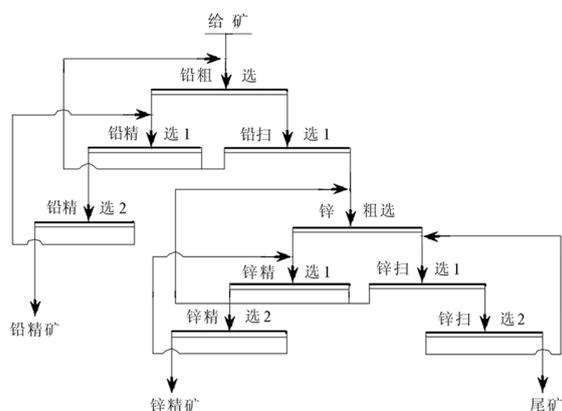


图3 改造后选矿浮选段工艺流程图

表7 现场生产指标对比 /%

类别	原矿品位		铅精矿		锌精矿	
	铅	锌	品位	回收率	品位	回收率
改造前	0.65	2.63	58.48	58.99	46.35	88.07
改造后	0.65	2.63	63.75	59.02	49.23	89.34

2.2 CCF 浮选柱在韶关凡口铅锌矿的应用

2.2.1 原矿性质

凡口铅锌矿主要分为块状黄铁铅锌矿石、粉状黄铁铅锌矿石和块状黄铁矿石三种类型,原矿中含铅 4.34%、锌 8.76%,属于高品位铅锌矿石。但矿物以细粒嵌布为主,方铅矿大部分分布在 0.01 ~ 0.1 mm,其中小于 0.2 mm 占 17%,闪锌矿分布在

0.1 ~ 1.5 mm,矿物相互交错,极不均匀,属于难选细粒铅锌矿石。此外,该铅锌矿矿石含泥、含水多,严重影响了分选。矿石多元素分析、物相分析结果分别见表 8 ~ 表 10。

表8 矿石多元素化学分析结果 /%

组分	Pb	Zn	Fe	Cu	As
含量	4.30	8.50	25.30	0.07	0.19
组分	S	CaO	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃
含量	28.10	5.20	0.96	12.81	0.74

表9 凡口铅锌矿石铅物相分析结果 /%

铅物相	硫化铅	氧化铅	硫酸铅	铅铁矾	合计
含量	3.84	0.23	0.14	0.05	4.26
分布率	90.24	5.45	3.21	1.10	100

表10 凡口铅锌矿石锌物相分析结果 /%

锌物相	硫化锌	硫酸锌	碳酸锌	锌铁尖晶石	合计
含量	7.55	—	0.09	0.29	7.93
分布率	95.12	—	1.23	3.65	100.00

从表 8 到表 10 中可以看出,凡口铅锌矿原矿中 Pb + Zn 的品位超过了 12%,属于高品位的铅锌矿石,且铅锌矿石基本都分布硫化矿中,硫化铅和硫化锌在各物相中分布率分别为 90.24% 和 95.12%。

2.2.2 选厂生产概况

在过去的几十年,由于矿石含泥量较多,矿石分选困难,为了有效利用该难选的铅锌矿石,先后进行了粗粒载体浮选、硫化矿电位调控浮选、快速分支浮选等工艺的研究和改造,但是以上生产流程均会产生混合铅锌精矿,因此销售渠道受到了限制,且产品价格偏低。

2.2.3 改造方案

为了优化生产流程,提高产品价值,长沙有色冶金设计研究院对该矿的 III 系列进行技术升级改造,采用了柱机联合分选流程,生产出了单一的铅、锌精矿,即浮选机用于粗、扫选作业,这有利于连生体矿物的回收,浮选柱用于精选作业,可以充分提高精矿的回收率和品位。该工业实验厂设计规模为日处理原矿 1 200 t/d,铅精选采用 Φ3.6m、Φ2.5m 和 Φ2.0m 的 CCF 浮选机三台,锌精选采用 Φ3.0m 和 Φ2.5m 的 CCF 浮选柱两台,总装机台数为 41 台,远低于原来的 79 台。

2.2.4 改造效果

目前,经过现场的调试和生产,该工业性试验已

经取得了一定的成效,生产指标平稳,可分别获得品位较高的铅精矿和锌精矿,改造后现场生产指标

和原来的生产指标对比见表 11。

表 11 现场生产指标对比

类别	原矿品位		铅精矿		锌精矿		混合精矿中含铅		混合精矿中含锌	
	铅	锌	品位	回收率	品位	回收率	品位	回收率	品位	回收率
改造前	4.34	8.76	60.4	64.44	54.4	62.27	12.19	23.1	33.7	33.23
改造后	4.34	8.76	58.0	84.0	53.0	94.00	—	—	—	—

从表 11 中可以看出,当采用柱机联合流程时,产生的都是单一精矿,铅精矿和锌精矿的品位分别比原来下降 2.4% 和 1.4%,虽然品位略有下降,但获得的单一铅精矿和锌精矿的回收率分别超过原来精矿 19.56% 和 31.73%,且销路广、价格高,改变了原来混合精矿销售困难、价格低的方式,促进了产品价值的大幅度提升,每年可增加的经济价值达 1.8 亿元。此外,在改造前采用的混合用药快速浮选工艺流程和快速分支流程作业次数多,共 20 槽浮选机,配置复杂,不利于设备的大型化和自动化,增加了管理、操作和维修费用。现有的生产中,结构大幅度优化,仅用 13 个浮选作业,使浮选自动化更容易实现。

3 结论

(1) CCF 浮选柱在分选广西盘龙低品位铅锌矿时,和充气式浮选机相比,CCF 浮选柱可以强化铅锌分离,一次浮选柱作业可以代替 2~3 次浮选机作业,且目的矿物在浮选柱中富集比也高,改造后最终获得的铅精矿的铅品位和回收率分别比原来高 5.27% 和 0.54%,获得的锌精矿的锌品位和回收率分别比原来高为 2.88% 和 1.27%。但是在扫选时,浮选机分选效果比浮选柱好,因此需采用柱机联合分选流程。

(2) CCF 浮选柱在分选韶关凡口高品位的铅锌矿时,采用柱机联合流程时,仅有 13 个浮选作业,总装机台数为 41 台,远低于原来的 79 台,且可以生产单一的铅精矿和锌精矿。在品位基本保持不变时,单一铅精矿和锌精矿的回收率分别提高 20% 和 30%,改造后工艺流程简单,设备数量少,功率小,便

于生产自动化管理。

(3) 由于 CCF 浮选柱具有高选择性,采用 CCF 浮选柱有利于减少粗精矿再磨量、缩小精选设备型号规格,因此在铅锌矿选矿厂中用浮选柱替代浮选机分选作业具有很大的优越性。此外,由于 CCF 浮选柱可以强化铅锌分离,可获得单一的铅精矿和锌精矿,因此能够创造出较好的经济效益和社会效益,具有较好的产业化前景。

参考文献:

- [1] 郑伦,张笃. 点位调控浮选在凡口铅锌矿的应用[J]. 中国矿山工程,2005,34(2):1-8.
- [2] 赵福刚. 我国铅锌矿选矿技术现状[J]. 有色矿冶,2007,23(6):20-25.
- [3] 邱冠周,伍喜庆,王毓华,等. 近年浮选进展[J]. 金属矿山,2006(1):41-51.
- [4] 戴晶平. 凡口铅锌矿硫化矿物的浮选电化学与点位调控浮选研究[D]. 长沙:中南大学,2002.
- [5] 陈经华. 会泽铅锌矿硫化矿等可浮异步浮选及氧化矿浮选基础研究[D]. 沈阳:东北大学,2006.
- [6] 周晓华,赵朝勋,刘炯天. 浮选柱研究现状与发展趋势[J]. 选煤技术,2003(6):51-53.
- [7] 张凤生. 浮选柱回收大厂矿区微细粒铅锌金属的试验研究[J]. 金属材料与冶金工程,2012,40:128-131.
- [8] 王选毅,吴铁生,薛明向,等. 浮选柱用于白钨精选的工业试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2012(6):60-64.
- [9] 王金玮,刘学军,张晓峰. CCF 浮选柱与 BF 浮选机在钨精选中的差异[J]. 现代矿业,2011(5):21-26.
- [10] 宋念平,赵长中,张综合. 洛钼集团 5000t/d 精选 CCF 浮选柱应用[J]. 中国铝业,2011,35(3):22-25.